

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
28 juillet 2005 (28.07.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/069057 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
**G02B 26/08**, B81B 3/00

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2004/050758

(22) Date de dépôt international :  
23 décembre 2004 (23.12.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0351209 26 décembre 2003 (26.12.2003) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR];  
31-33 rue de la Fédération, F-75752 PARIS 15ème (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **DIVOUX,  
Claire** [FR/FR]; 8, rue Marceau, F-38000 GRENOBLE  
(FR). **VAUDAINÉ, Marie-Hélène** [FR/FR]; 1 rue du  
Pied du Côteau, F-38180 SEYSSINS (FR). **ENOT,  
Thierry** [FR/FR]; 10 chemin des Tourterelles, F-38190  
VILLARD-BONNOT (FR).

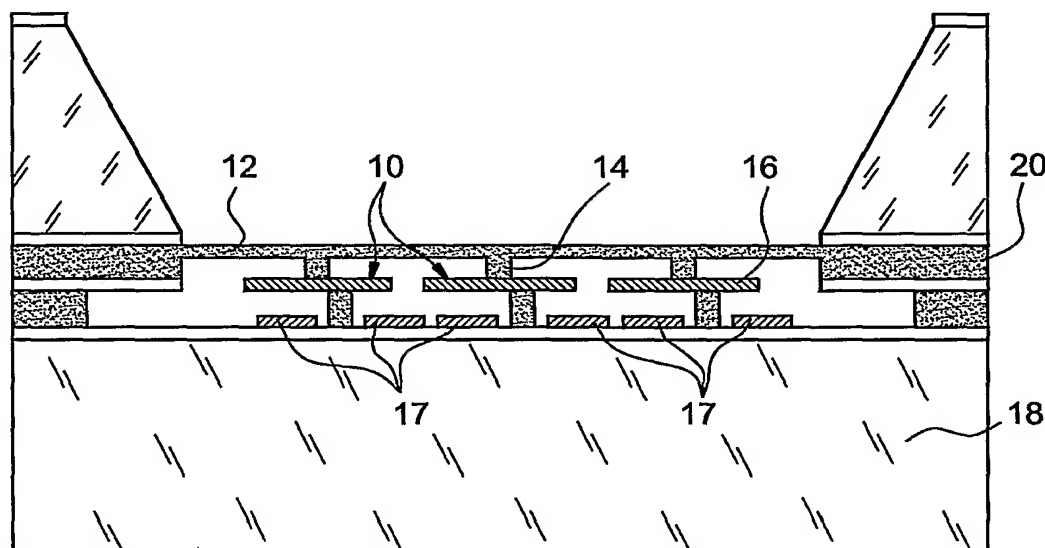
(74) Mandataire : **LEHU, Jean**; BREVATOME, 3, rue du  
Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,  
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: OPTICAL COMPONENTS AND PRODUCTION THEREOF

(54) Titre : COMPOSANTS OPTIQUES ET LEUR PROCÉDE DE REALISATION



(57) Abstract: The invention relates to a method for production of an operation system for an optical component, comprising the engraving of a first face of a component to form blocks thereon, the engraving of a second face of the component to release a membrane of the same material as the blocks and the production of operating means of the blocks and the membrane.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de réalisation d'un système d'actionnement pour un composant optique comportant la gravure d'une première face d'un composant, pour y former des plots, la gravure d'une deuxième face du composant, pour dégager une membrane dans le même matériau que les plots, la réalisation des moyens d'actionnement des plots et de la membrane.

WO 2005/069057 A1



(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

**COMPOSANTS OPTIQUES ET LEUR PROCEDE DE REALISATION****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR**

5 L'invention concerne le domaine de la réalisation de composants optiques.

En particulier elle s'applique à l'optique adaptative, où on déforme mécaniquement des membranes réfléchissantes pour corriger la phase d'un faisceau  
10 lumineux.

Elle concerne également la réalisation de moyens d'actionnement mécanique en vue de la réalisation de membranes réfléchissantes ou de composants optiques.

15 Pour déformer une surface optique, on utilise une matrice d'actionneurs accrochée à une membrane réfléchissante.

On connaît des réalisations avec un seul niveau mécanique et optique, par exemple une membrane réfléchissante libre vis-à-vis d'une matrice d'électrodes. Des exemples en sont donnés dans le document US - 6108121 et dans l'article de G.Robert et al. « le micro-miroir adaptatif : un micro-composant d'optique adaptative », Second Forum Ademis, 1997,  
20 p. 161 - 165. Ce procédé à un niveau (à la fois mécanique et optique) ne permet pas de découpler l'actionnement de la surface optique. Par exemple, on veut souvent à la fois une surface optique très souple pour corriger le faisceau et un actionneur très rigide  
25 pouvant fonctionner à des fréquences supérieures au kHz  
30

pour travailler en temps réel. Un seul niveau optique oblige à réaliser un compromis souvent difficile.

Sont également connues des réalisations à deux niveaux dont un niveau est optique, comme décrit  
5 par exemple dans les documents de R.Krishnamoorthy et al. « Statistical performance evaluation of electrostatic micro-actuators for a deformable mirror », SPIE Vol. 2881, p.35 - 44, et dans l'article de T.G.Bifano et al. « Continuous-membrane surface-  
10 micromachined silicon deformable mirror », Optical Engineering, Vol.36, p. 1354 - 1360, 1997. L'actionneur est réalisé dans un premier niveau mécanique et le deuxième niveau mécanique sert à la correction optique. Les 2 niveaux sont reliés par des plots mécaniques, qui  
15 peuvent être réalisés dans le même matériau que celui du niveau mécanique « optique » (par exemple en poly silicium), par technologie de surface, par exemple par technologie de surface en oxyde de silicium/poly silicium MUMPS. Cette technologie est un empilement de  
20 couches conformes avec, en dernière couche, la couche optique, dont la planéité est dégradée par les couches inférieures et par le fait même de réaliser les plots dans le même matériau.

Les plots peuvent aussi être réalisés dans  
25 un matériau différent de celui du niveau mécanique « optique », par report d'une membrane fine sur des actionneurs, comme décrit par exemple dans les documents de J.A.Hammer et al. « Design and fabrication of a continuous membrane deformable mirror », Proc. Of  
30 SPIE, Vol. 4985, p.259 - 270, grâce à l'utilisation de substrat SOI et de plots en indium, ou par report d'une

membrane comprenant déjà des plots, grâce à l'utilisation de substrat double SOI et scellement de ces membranes sur des actionneurs (comme décrit dans C.Divoux et al. « A novel electrostatic actuator for  
5 licro deformable mirrors : fabrication and test »), ou encore à l'aide d'une membrane collée par une couche adhésive aux actionneurs piézoélectriques.

Dans tous les cas, on observe des problèmes d'empreintes de plots sur le côté optique de la  
10 membrane, qui se traduit par une mauvaise planéité ou rugosité.

En outre les surfaces des plots peuvent parfois être importantes, ce qui nuit alors à la flexibilité de la membrane.

15 Il se pose donc le problème de trouver de nouveaux éléments ou moyens, notamment d'activation mécanique, permettant de réaliser de nouveaux composants optiques, notamment du type évoqué ci-dessus.

20 Il se pose aussi le problème de réaliser des composants du type évoqué ci-dessus et présentant des empreintes de plots réduites, et une planéité, ainsi qu'une flexibilité, améliorées.

#### **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

25 L'invention concerne plus précisément un procédé de réalisation d'un système ou de moyens ou d'un dispositif d'actionnement comportant :

- la gravure d'une première face d'un composant, par exemple d'un substrat semi-conducteur,

ou d'une couche mince formée en surface d'un tel substrat semi-conducteur, pour former des plots,

- la gravure d'une deuxième face du composant, pour réaliser ou dégager ou libérer une  
5 membrane dans le même matériau que les plots,

- la réalisation des moyens d'actionnement des plots et de la membrane.

Le fait de graver d'abord une face du composant initial, puis l'autre face, permet de  
10 réaliser les plots, puis une membrane souple ou déformable, dans une fraction seulement de l'épaisseur initiale du composant. Les plots et la membrane forment un ensemble homogène.

Ainsi, la membrane et les plots peuvent  
15 avoir une épaisseur faible, par exemple une épaisseur totale inférieure à 30µm, ou comprise entre 5µm et 15 µm.

L'invention permet donc de réaliser des composants optiques à deux niveaux solidaires l'un de  
20 l'autre ; elle permet également de réaliser un niveau optique de très bonne qualité.

Le composant peut être en un matériau semi-conducteur ou en verre, et être muni d'une couche superficielle de matériau semi-conducteur ou de nitrure  
25 dans lequel les plots et la membrane sont gravés.

Il peut aussi être de type SOI, comportant une couche superficielle de silicium, une couche d'isolant et un substrat, les plots et la membrane étant réalisés dans la couche superficielle de  
30 silicium.

Il peut encore s'agir d'un substrat silicium recouvert d'une couche d'isolant et d'une couche de poly-silicium ou d'un substrat silicium recouvert d'une couche de nitrure, les plots et la  
5 membrane étant réalisés respectivement dans la couche d'isolant ou de poly-silicium ou de nitrure.

Selon encore une variante, il peut s'agir d'un substrat silicium dopé sur deux côtés, la membrane et les plots étant réalisés dans des portions dopées  
10 différemment l'une de l'autre.

Les moyens d'actionnement peuvent être de type électrique ou magnétique ou thermique.

Ils peuvent être en partie formés directement sur les plots, ou bien ils peuvent être  
15 réalisés sur un substrat ou un autre substrat, qui est ensuite assemblé avec le système d'actionnement.

L'invention concerne également un système d'activation mécanique, pour un composant optique, comportant :

- 20 - une membrane munie sur une de ses faces de plots intégralement formés avec la membrane,
- des moyens d'actionnement des plots et de la membrane.

La membrane, souple ou déformable par les  
25 moyens d'actionnement, et les plots peuvent être réalisés dans un composant tel que mentionné ci-dessus.

Un système selon l'invention peut avoir les dimensions déjà invoquées ci-dessus et être muni de moyens réfléchissants lui conférant des propriétés  
30 optiques.

De préférence les plots ont un rapport hauteur/largeur inférieur à 20.

#### BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- 5       - Les figures 1 à 3 et 12 représentent un dispositif selon l'invention, ou des détails d'un tel dispositif,
- les figures 4A à 4E représentent des étapes de réalisation d'un dispositif selon l'invention.
- 10       - les figures 5A à 11E représentent des variantes de procédés de réalisation d'un dispositif selon l'invention.

#### DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

15               Un premier mode de réalisation de l'invention est illustré sur les figures 1 et 2.

Sur ces figures, des moyens actionneurs, formant un premier niveau 10, sont couplés à un deuxième niveau 12 par des plots 14 de liaison.

20               Les moyens actionneurs permettent de mouvoir les plots et, donc, les éléments de ce deuxième niveau 12 liés aux plots.

      Ces moyens actionneurs sont par exemple des électrodes 16, mobiles, qui agissent en combinaison  
25       avec des électrodes fixes 17 formées sous le premier niveau 10. En variante l'actionneur peut aussi être constitué par des moyens magnétiques ou thermiques ou piézo-électriques.



Dans le cas de moyens magnétiques d'actionnement, la partie mobile d'un actionneur peut être un aimant 30 ou une bobine collée sur un plot 14 avec, en vis-à-vis, respectivement, une bobine 32 ou un  
5 aimant, fixe, comme illustré sur la figure 3.

Dans le cas de moyens thermiques ou piézo-électriques d'actionnement, la partie mobile d'un actionneur peut être une structure bilame réalisée avec une première et une deuxième couches, la deuxième  
10 couche étant à plus forte dilatation thermique ou à plus forte dilatation que la première. La partie fixe peut alors être uniquement une surface sur laquelle ces structures peuvent venir s'appuyer.

Sur la figure 1, la référence 20 désigne  
15 une couche mince, par exemple une couche en silicium ou en germanium ou en Phosphure d'indium (InP), par exemple encore d'un substrat de type SOI.

L'ensemble repose sur un substrat 18, par exemple en silicium, ou en verre.

20 Le second niveau mécanique 12 ainsi que les plots de liaison 14 sont réalisés dans la même couche 20, sans collage ni report. Cette couche a par exemple été préalablement fabriquée (par déposition, épitaxie ou tout autre méthode) sur un substrat de très bonne  
25 planéité, par exemple une planéité de quelques  $\mu\text{m}$  sur un diamètre de substrat de 100 mm ou 200 mm; la rugosité est par exemple inférieure à 5 nm.

Le substrat de départ assure une bonne planéité de la surface réfléchissante, du fait de cette  
30 très bonne planéité. L'homogénéité de matériau entre les plots 14 et le niveau 12 permet de ne pas dégrader

la surface optique par des effets de dilation différentiel entre les 2 matériaux. L'absence d'interface entre les plots 14 et ce niveau 12 limite en outre les dégradations dues au procédé de  
5 réalisation.

Enfin, comme on le reverra plus loin, la faible épaisseur de l'ensemble membrane 12 - plots 14 permet de réaliser un composant de grande qualité, avec des défauts, tels que les empreintes optiques, limités.

10 L'invention concerne donc un dispositif à membrane déformable ou souple, muni de moyens actionneurs formés de manière homogène avec la membrane et permettant de déformer cette membrane.

Un procédé pour réaliser un système selon  
15 l'invention peut comporter les étapes illustrées schématiquement sur les figures 4A - 4C.

Un composant de départ est un substrat 50 portant une couche mince superficielle 60. Cette dernière est d'épaisseur faible, par exemple comprise  
20 entre 10  $\mu\text{m}$  et 30  $\mu\text{m}$ .

L'ensemble peut être par exemple un substrat SOI. Une structure SOI (abréviation de Silicon on Insulator, ou Silicium sur Isolant) comporte, typiquement, une couche de silicium, et sous laquelle  
25 est réalisée une couche enterrée d'oxyde de silicium, qui repose elle-même sur un substrat en silicium, qui joue le rôle de support mécanique. De telles structures sont par exemple décrites dans FR-2 681 472.

Le substrat 50 peut aussi être un substrat  
30 silicium recouvert d'un isolant et d'une couche de poly-silicium ; ce peut être aussi un substrat silicium recouvert de nitrure, ou un substrat silicium, ou en un

autre matériau semi-conducteur, dopé sur deux côtés, ou un substrat de verre recouvert de nitrure.

On procède à une gravure de plots 54 dans la couche 60, par une face du composant de départ dite  
5 face avant 51 (figure 4B).

Puis une gravure en face arrière 53 permet de dégager une membrane 52 (figure 4C) dans la couche 60. Ces deux étapes peuvent aussi être réalisées dans l'ordre inverse.

10 On obtient ainsi un ensemble de plots 54-membrane 52 en un seul matériau, les plots et la membrane étant formés intégralement, donc sans assemblage entre eux.

La couche dans laquelle sont réalisés les  
15 plots et la membrane 52 a une épaisseur E par exemple comprise entre 5µm et 20µm ou 30 µm. La membrane 52 seule a une épaisseur e d'environ 1µm à 5µm, qui assure une bonne souplesse en vue de sa déformation.

Des essais successifs permettent de  
20 déterminer un temps de gravure, afin de s'arrêter à la bonne profondeur. Dans le cas d'une gravure RIE ou d'une gravure humide, on peut obtenir une homogénéité de +/- 5% avec les technologies actuelles.

Un dépôt réfléchissant peut ensuite être  
25 réalisé sur la surface extérieure 55 de la membrane 52.

Les moyens d'activation, ou une première partie de ces moyens, en l'espèce une couche 56 d'électrodes mobiles, peuvent ensuite être réalisés directement sur le substrat ainsi gravé, par exemple à  
30 l'aide d'une couche sacrificielle (figure 4D).

L'ensemble est ensuite assemblé avec un substrat 58 (figure 4E) sur lequel des électrodes fixes 57 ont été réalisées. Selon une variante, les

électrodes mobiles, ou la couche 56 d'électrodes mobiles, peuvent aussi être réalisées sur le même substrat que l'électrode fixe.

La figure 5A illustre le mode de réalisation qui vient d'être décrit dans le cas où le composant de départ est un composant SOI muni comportant une couche mince 501 de silicium, une couche mince 502 d'isolant (en général du dioxyde de silicium) et un substrat 503 proprement dit, en silicium. Cette structure permet une gravure des plots et de la surface 52 dans la couche mince de silicium. Comme déjà expliqué ci-dessus, il y a d'abord gravure des plots 54, puis gravure du substrat 503 pour dégager la membrane 52 (figure 5A).

Ensuite peut être formée, directement sur la couche 501, une couche 56 d'électrodes mobiles.

L'ensemble obtenu, illustré en figure 5B, peut être assemblé avec un substrat tel que celui de la figure 4E.

Selon une variante illustrée en figure 6, on réalise la couche 56 d'électrodes mobiles directement sur un substrat 58, par exemple en silicium ou en nitrure de silicium recouvert d'un métal, sur lequel, comme expliqué ci-dessus en liaison avec la figure 4E, on a déjà réalisé des électrodes fixes 57. Les électrodes mobiles sont obtenues par scellement d'une couche mince 56 (par exemple en silicium ou en nitrure de silicium) sur un substrat contenant des cavités ; les événements 59 permettent d'équilibrer les pressions pendant le procédé et par la suite.

La référence 61 désigne une couche des moyens formant isolant électrique, par exemple une couche d'isolant électrique, qui permet de séparer les deux niveaux d'électrodes.

5 La structure de la figure 5A peut ensuite être assemblée avec celle de la figure 6 pour obtenir le composant voulu.

Un exemple détaillé d'une autre réalisation va être décrit en liaison avec les figures 7A à 7J.

10 Un substrat SOI 50 est tout d'abord utilisé pour réaliser une partie des actionneurs (électrode mobile) ainsi que la membrane optique. Ce substrat 50 (figure 7A) comporte une couche de matériau semi-conducteur 501 (par exemple du silicium d'épaisseur 15µm), une couche d'isolant 502 (par exemple du dioxyde de silicium d'épaisseur 0,5µm), et un substrat en matériau semi-conducteur 503 (par exemple du silicium d'épaisseur 500µm).

Il est oxydé en surface (couches d'isolant 20 60, 61, figure 7B), pour former un masque de gravure.

La couche d'isolant 61 située en face arrière est gravée localement (figure 7C) en vue de l'étape ultérieure de gravure du substrat 503 qui permettra de définir ou de libérer la membrane.

25 La couche mince 501 est gravée partiellement (par exemple sur 10µm, en gravure RIE) en face avant (figure 7D) pour réaliser les plots 54 de liaison entre moyens d'activation, par exemple des électrodes mobiles, et membrane optique.

30 Un dépôt d'oxyde 66, suivi d'une planarisation de l'oxyde (par exemple par PMC,

polissage mécano chimique), permet d'avoir une surface plane pour la suite du procédé (figure 7E).

Une couche 68 de poly-silicium (épaisseur d'environ 1 à 2 $\mu$ m) est déposée (figure 7F) et gravée en  
5 face avant pour réaliser les actionneurs (figure 7G).

La couche sacrificielle est ensuite éliminée par gravure HF de l'oxyde (figure 7H).

Puis (figure 7I) on grave le substrat 503, en face arrière, ce qui libère la membrane 52 et la  
10 couche 502.

Pour une membrane 52 de diamètre supérieur à 10 mm, et d'épaisseur inférieure à 5 $\mu$ m, il est préférable, préalablement à l'étape de la figure 7I, d'oxyder les actionneurs, réalisés en face avant, avec  
15 la même épaisseur d'oxyde que celle de la couche 502, et ce afin d'équilibrer les contraintes mécaniques sur cette membrane pendant la gravure face arrière.

Puis l'oxyde est retiré en face arrière (figure 7J) et en face avant.

En face arrière, la gravure sèche des membranes permet de réaliser des membranes optiques ; ainsi, l'oxyde enterré 502 du SOI est par exemple gravé en HF (figure 7J). Un dépôt métallique en face arrière 505 de la membrane obtenue par gravure permet de former  
25 une surface réfléchissante.

Comme illustré sur la figure 8, on réalise, sur un autre substrat 58 (par exemple en silicium), muni d'une couche 59 d'isolant (1 $\mu$ m d'oxyde thermique par exemple), des électrodes 57 en métal ainsi que des  
30 pistes 70 et des plots d'adressage (non représentés sur la figure 8). Un isolant est ensuite déposé partout,

puis gravé au niveau des plots d'adressage. Des butées 72 sont réalisées pour supporter la membrane optique et les actionneurs.

Les 2 substrats ou éléments ainsi formés  
5 sont ensuite assemblés pour former un composant. L'assemblage peut être maintenu mécaniquement, à l'aide de points de colle en périphérie. L'assemblage peut être fait composant contre composant ou substrat contre substrat : autrement dit, on peut assembler en une  
10 seule fois plusieurs composants se trouvant sur le même substrat ou, préalablement, découper chaque composant et faire l'assemblage des composants un à un.

On obtient alors un dispositif identique à celui de la figure 1.

15 Dans le cas où le matériau semi-conducteur de la couche 501, utilisé pour former la membrane 52 est du silicium monocristallin, on obtient à la fois un très bon comportement mécanique de cette membrane, mais aussi une faible rugosité (empreintes pic à pic  
20 inférieures à 100 nm) et une très bonne planéité. Les effets d'empreinte sont limités.

Des connexions électriques 74, 75 peuvent ensuite être réalisées latéralement, comme illustré sur la figure 9, qui représente une vue de dessus de  
25 dispositif.

Ces électrodes fixes peuvent ensuite être reliées à des moyens d'alimentation en tension.

L'exemple qui vient d'être décrit concerne une réalisation à partir d'un substrat SOI.

Selon un autre mode de réalisation, illustré en figure 10A, un substrat de départ 150 est en silicium ou en AsGa.

Il est dopé, de manière à comporter deux zones latérales 151, 153, d'un premier type de dopage, qui entourent une zone ou couche intermédiaire 152 dopée à l'aide d'un deuxième type de dopage.

Les deux couches ou zones 153 et 152 ont, à elles deux, une épaisseur totale d'environ 10µm à 30µm, par exemple 20µm.

Avantageusement, la différence de dopage entre le premier et le deuxième dopage est de l'ordre de grandeur de  $10^7 \text{ cm}^{-3}$ .

Par exemple le premier dopage est de l'ordre de  $10^{20}$  à  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$  et le deuxième dopage est d'environ de  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$ .

Les zones de dopages différents permettent d'effectuer des gravures sélectives : une première étape de gravure, dans la couche 153, permet de réaliser des plots 154. Puis une gravure de la zone 151 permet de dégager une membrane dans la couche 152 (figure 10B).

Là encore, on a formé une partie du composant, sur lequel on peut former une couche de moyens d'activation, ou bien qui peut être assemblée avec un ensemble substrat - moyens d'activation, tel qu'illustré sur la figure 6. Les plots 154 et la membrane formée dans la couche 152 sont bien réalisées dans un même matériau, quand bien même les deux zones sont dopées différemment, et sans aucun élément de liaison entre les plots et la membrane. Là encore, on



évite donc les problèmes posés par les techniques de l'art antérieur, à savoir les problèmes d'empreintes de plots et de mauvaise planéité ou de rugosité.

Les figures 11A à 11E donnent d'autres  
5 étapes de ce mode de réalisation.

Tout d'abord (figure 11A) un substrat 151 en silicium est réalisé, ou sélectionné. Il est dopé  $p^{++}$ , par exemple à  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ .

Puis (figure 11B) est réalisée une première  
10 épitaxie d'une couche 152, d'épaisseur E voisine de  $20\mu\text{m}$ , par exemple comprise entre  $10\mu\text{m}$  et  $30\mu\text{m}$ . Cette couche 152 en silicium est dopée  $p^-$ . Le dopant est par exemple du bore.

Une deuxième étape d'épitaxie (figure 11C)  
15 permet de faire croître une couche 153 en silicium  $p^{++}$ , par exemple à  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ .

On a ainsi obtenu une structure similaire à celle décrite ci-dessus en liaison avec la figure 10A.

Il est ensuite procédé à une gravure de  
20 plots 154 dans la couche 153, par exemple par un procédé chimique par voie humide, notamment par un mélange de HNA (mélange d'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , d'acide fluorhydrique  $\text{HF}$ , et de  $\text{HNO}_3$ ).

Enfin (figures 11D et 11E) une couche 162  
25 de protection est déposée sur la couche 153 et les plots 154, un masque 160 est positionné en face arrière, et le composant est gravé en face arrière par gravure humide HNA, de manière à libérer une membrane dans la couche 152.

30 Le composant obtenu est similaire à celui de la figure 10B, et peut dès lors être assemblé avec,

par exemple, un substrat tel que celui de la figure 6. Selon une variante, une couche d'électrodes mobiles 156 est réalisée sur la couche 153 et les plots 154, l'ensemble étant ensuite assemblé avec un substrat tel  
5 que celui de la figure 4E.

La figure 12 représente un agrandissement de deux plots 154 et d'une portion de la membrane 152. Ces plots sont ceux du mode de réalisation précédent, mais les considérations qui suivent peuvent s'appliquer  
10 aux autres modes de réalisation.

Selon l'invention, quel que soit le mode de réalisation envisagé, l'épaisseur L de l'ensemble plots + membrane est par exemple compris entre 10µm et 30µm, par exemple encore d'environ 20µm. Du fait de  
15 l'utilisation d'une technique de gravure, le rapport entre la hauteur B des plots et leur largeur A, tel qu'illustrés sur la figure 12, est inférieur à 20. B étant compris entre 5 µm et environ 15µm, A pourra être assez faible, par exemple de l'ordre de 1µm, ou compris  
20 entre 0,5 et 1,5 µm. Il en résulte que la souplesse de la membrane, d'épaisseur comprise entre 1µm, ou 5 µm, et 10 µm, n'est guère affectée par la présence des plots sur un de ses côtés. Les plots sont par exemple espacés d'environ 500 µm.

25 L'invention permet donc de réaliser des motifs de petite taille. L'empreinte optique du dispositif est donc minime, ce qui lui confère une grande qualité, à la différence des motifs qui peuvent être obtenus par gravure dans des substrats épais, par  
30 exemple d'épaisseur voisine de 200µm. Selon l'invention, L est beaucoup plus faible que 200µm

puisque'elle ne correspond pas à l'épaisseur totale du substrat mais seulement à une fraction de ce substrat.

L'invention s'applique au domaine de l'optique adaptative, ou encore à la réalisation de  
5 micro-miroirs.

Dans le cas d'un micro-miroir de scanner ou de déviation de faisceau, ou de pointage, il n'y a pas de nécessité de produire beaucoup de force sur la partie optique, mais il peut être important de produire  
10 un angle significatif.

La partie mécanique optique pourra aussi être choisie très rigide pour ne pas se déformer et la partie mobile pourra être alors choisie souple pour satisfaire les exigences de l'actionneur.

**REVENDICATIONS**

1. Procédé de réalisation d'un système d'actionnement pour un composant optique comportant :

- la gravure d'une première face (51) d'un  
5 composant, pour y former des plots (14, 54, 154),
- la gravure d'une deuxième face (53) du  
composant, pour dégager une membrane souple ou  
déformable (12, 52, 152), dans le même matériau que les  
plots,
- 10 - la réalisation des moyens (16, 17, 30,  
32, 56, 57) d'actionnement des plots et de la membrane.

2. Procédé selon la revendication 1, la  
membrane et les plots ayant une épaisseur totale  
15 inférieure à 30µm, ou comprise entre 5µm et 15 µm.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2,  
la membrane ayant une épaisseur comprise entre 1 µm et  
5 µm.

20 4. Procédé selon l'une des revendications 1  
à 3, le composant étant en un matériau semi-conducteur  
ou en verre (51), et étant muni d'une couche  
superficielle (60) de matériau semi-conducteur ou de  
25 nitrure dans lequel les plots et la membrane sont  
gravés.

5. Procédé selon l'une des revendications 1  
à 4, le composant étant de type SOI, comportant une  
30 couche superficielle de silicium (501), une couche  
d'isolant (502) et un substrat (503), les plots et la

membrane étant réalisés dans la couche superficielle de silicium.

6. Procédé selon l'une des revendications 1  
5 à 3, le composant étant un substrat silicium recouvert d'une couche d'isolant et d'une couche de poly-silicium ou un substrat silicium recouvert d'une couche de nitrure, les plots et la membrane étant réalisés respectivement dans la couche d'isolant ou de  
10 poly-silicium ou de nitrure.

7. Procédé selon l'une des revendications 1  
à 3, le composant étant un substrat silicium dopé sur deux côtés (151, 153), la membrane et les plots étant  
15 réalisés dans des portions (152, 153) dopées différemment l'une de l'autre.

8. Procédé selon l'une des revendications 1  
à 7, les moyens d'actionnement étant de type électrique  
20 ou magnétique ou thermique ou piézo-électrique.

9. Procédé selon l'une des revendications 1  
à 7, les moyens d'actionnement étant de type électrique et comportant une ou plusieurs électrodes mobiles  
25 (16, 56), liées aux plots de dispositif, et une ou plusieurs électrodes fixes (17, 57).

10. Procédé selon l'une des revendications  
1 à 7, les moyens d'actionnement étant de type  
30 magnétique et comportant une ou plusieurs bobines (30)

ou aimants mobiles, lié(e)s aux plots de dispositif, et un ou plusieurs aimants (32) ou bobines fixes.

11. Procédé selon l'une des revendications  
5 1 à 10, comportant en outre une étape de réalisation, sur les plots, d'une première partie (56) des moyens d'actionnement.

12. Procédé selon la revendication 11,  
10 comportant en outre une étape d'assemblage avec un deuxième substrat (58) sur lequel est réalisée une deuxième partie (57) des moyens d'actionnement, qui coopère avec la première partie pour actionner les plots et la membrane.

15  
13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, les moyens d'actionnement (16, 17, 30, 32, 56, 57) étant réalisés par une étape d'assemblage de la membrane et des plots avec un deuxième substrat (58)  
20 sur lequel ces moyens ont été préalablement formés.

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, les plots ayant largeur, ou une base de largeur, inférieure à 2  $\mu\text{m}$ .

25  
15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, les plots ayant un rapport hauteur/largeur inférieur à 20.

30  
16. Procédé de réalisation d'un composant optique comportant la réalisation d'un système

d'actionnement selon l'une des revendications 1 à 15, et la formation de moyens réfléchissants sur la membrane.

5                   17. Système d'activation mécanique, pour un composant optique, comportant :

                  - une membrane (12, 52, 152) munie sur une de ses faces de plots (14, 54, 154) intégralement formés avec la membrane, les plots ou la membrane étant  
10 réalisés :

                  • dans une couche superficielle (60) de matériau semi-conducteur ou de nitrure, formée sur un matériau semi-conducteur ou en verre (50),

                  • ou dans la couche superficielle (501) de  
15 silicium d'un composant de type SOI,

                  • ou dans une couche superficielle de polysilicium ou de nitrure reposant soit directement sur un substrat, soit sur une couche isolante reposant elle-même sur un substrat,

20                   • ou dans des zones (152, 153) dopées différemment d'un substrat semi-conducteur.

                  - des moyens (16, 17, 30, 32, 56, 57) d'actionnement des plots et de la membrane.

25                   18. Système selon la revendication 17, la membrane et les plots ayant une épaisseur totale inférieure à 30µm ou comprise entre 5µm et 30µm.

                  19. Système selon la revendication 17 ou  
30 18, la membrane souple ayant une épaisseur comprise entre 1 µm et 5 µm.

20. Système selon l'une des revendications 17 à 19, la membrane étant souple.

21. Système selon l'une des revendications  
5 17 à 20, les moyens d'actionnement étant de type électrique ou magnétique ou thermique.

22. Système selon l'une des revendications  
10 17 à 20, les moyens d'actionnement étant de type électrique et comportant une ou plusieurs électrodes mobiles (16, 56), liées aux plots de dispositif, et une ou plusieurs électrodes fixes (17, 57).

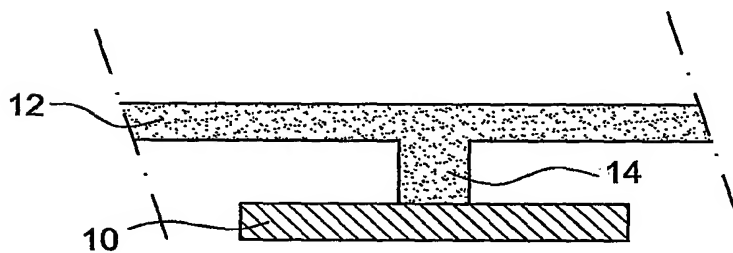
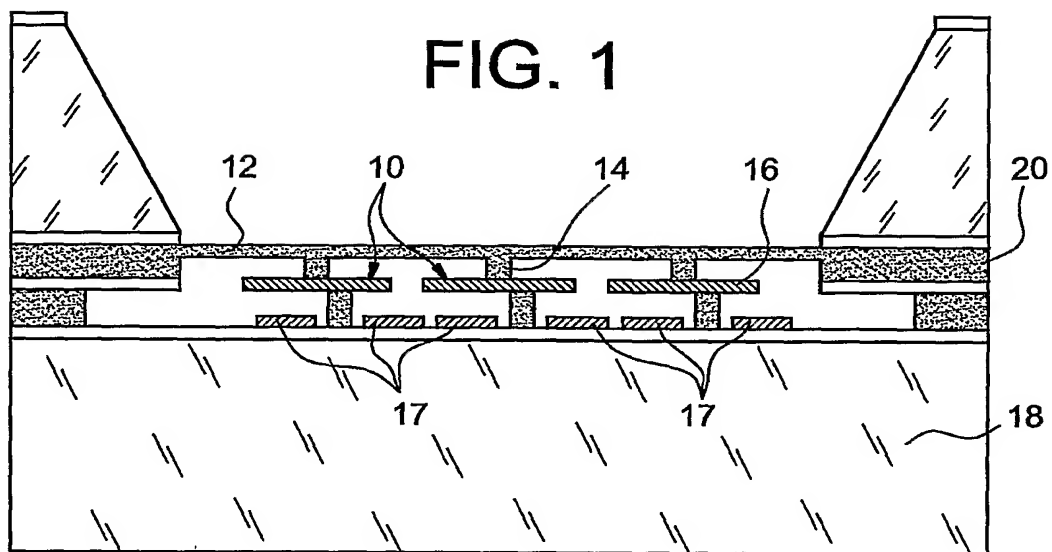
23. Système selon l'une des revendications  
15 17 à 20, les moyens d'actionnement étant de type magnétique et comportant une ou plusieurs bobines ou aimants mobiles (30), lié(e)s aux plots de dispositif, et un ou plusieurs aimants ou bobines fixes (32).

20 24. Système selon l'une des revendications 17 à 23, les plots ayant largeur, ou une base de largeur, inférieure à 2  $\mu\text{m}$ .

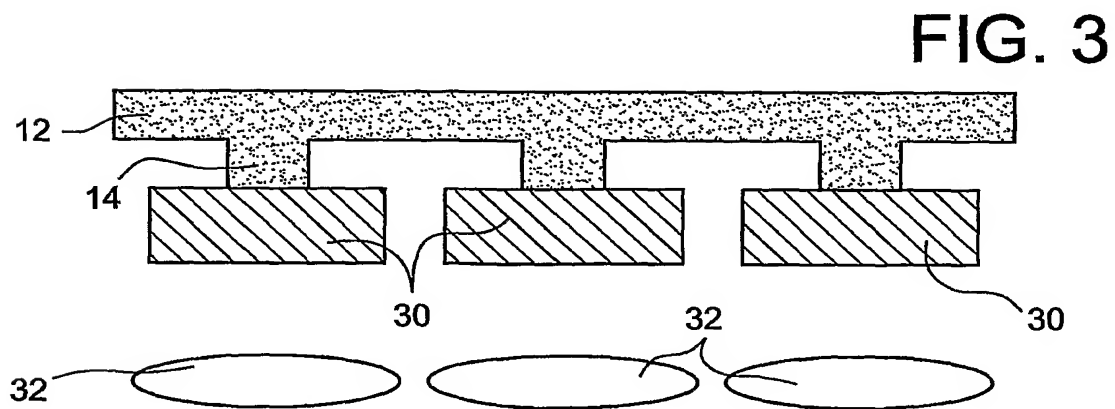
25 25. Système selon l'une des revendications 17 à 24, les plots ayant un rapport hauteur/largeur inférieur à 20.

26. Composant optique comprenant un système  
30 d'activation selon l'une des revendications 17 à 25, et des moyens réfléchissants sur la membrane.





**FIG. 2**



2 / 10

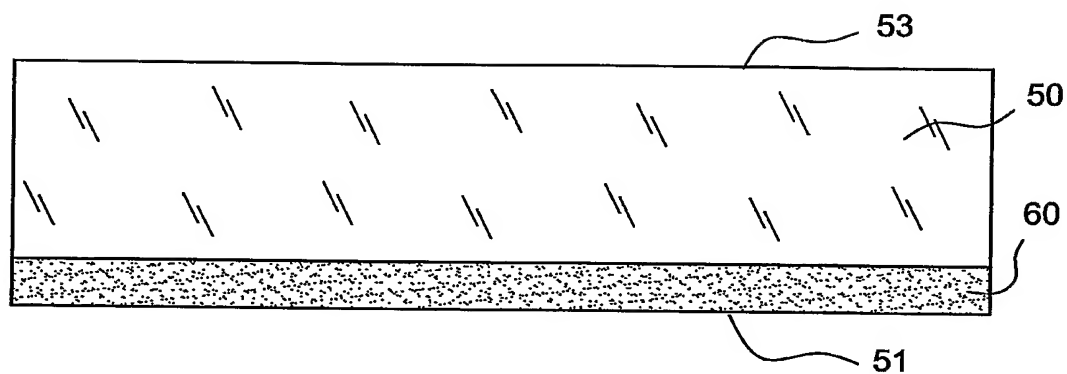


FIG. 4A

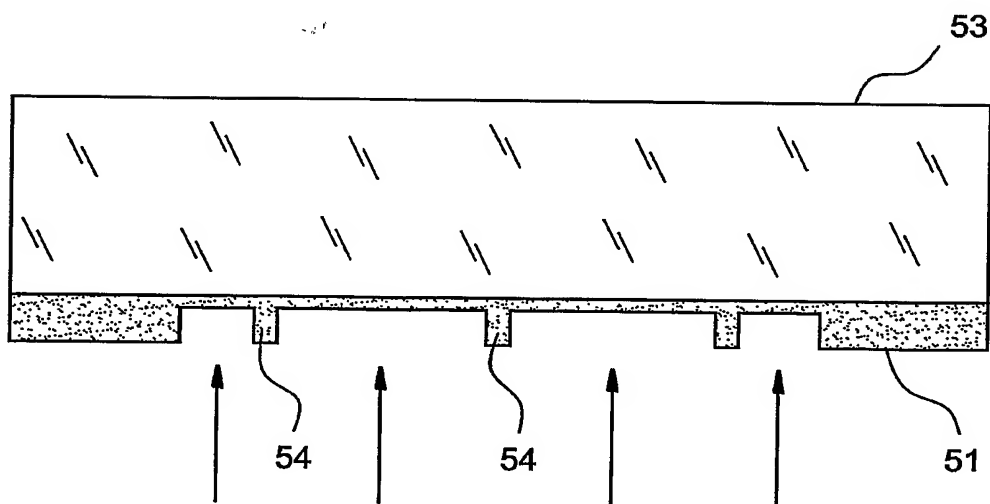


FIG. 4B

3 / 10

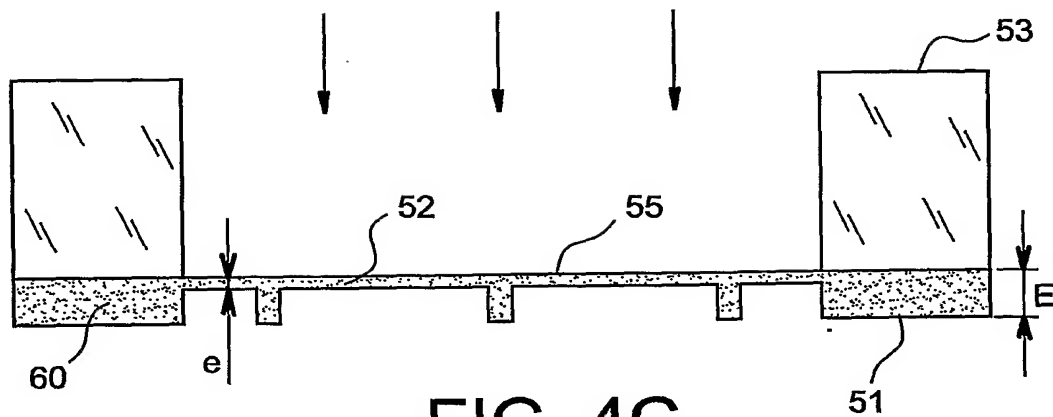


FIG. 4C

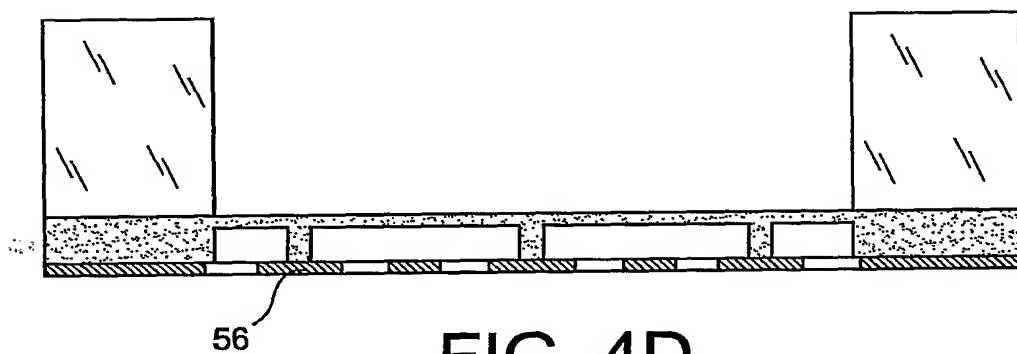


FIG. 4D

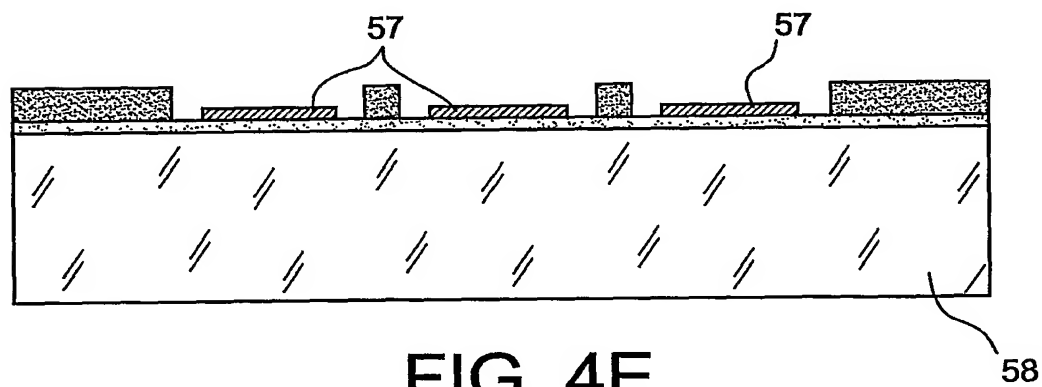
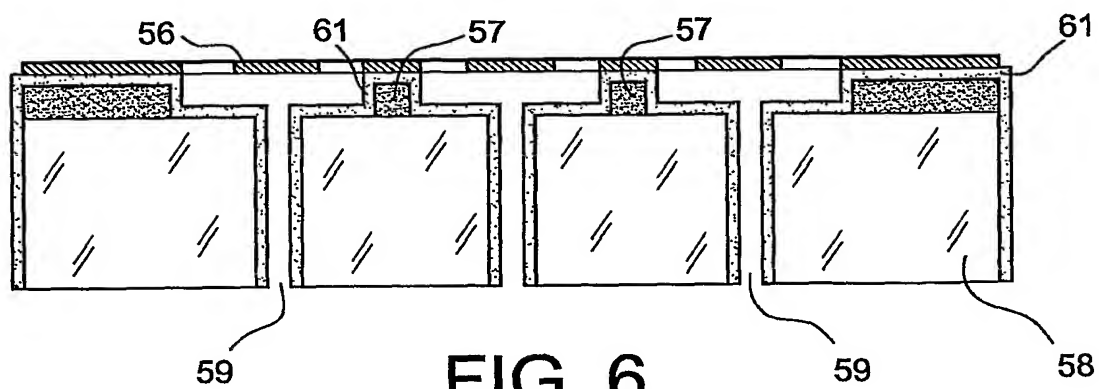
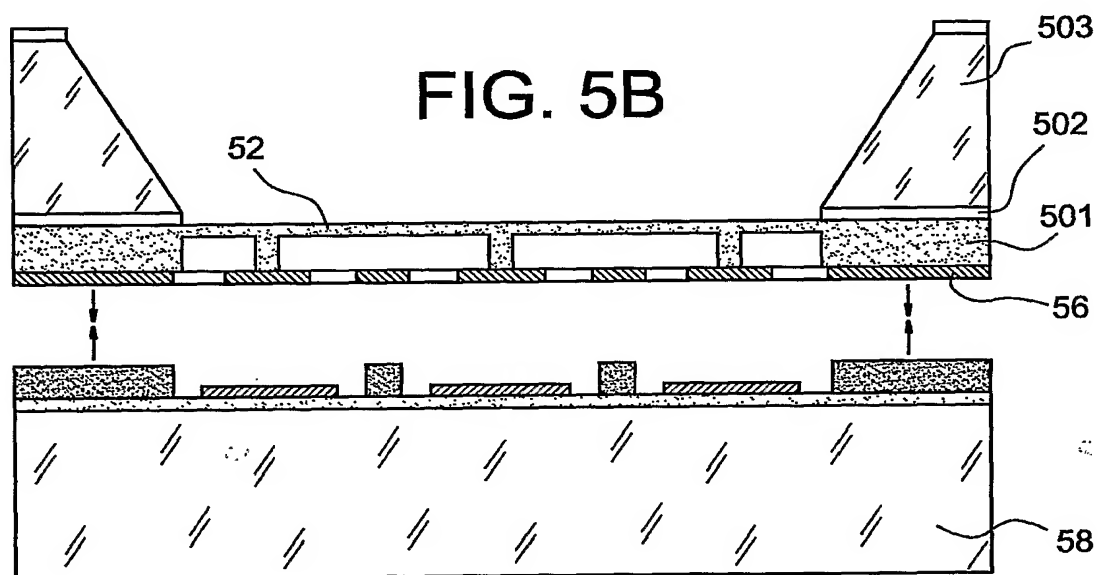
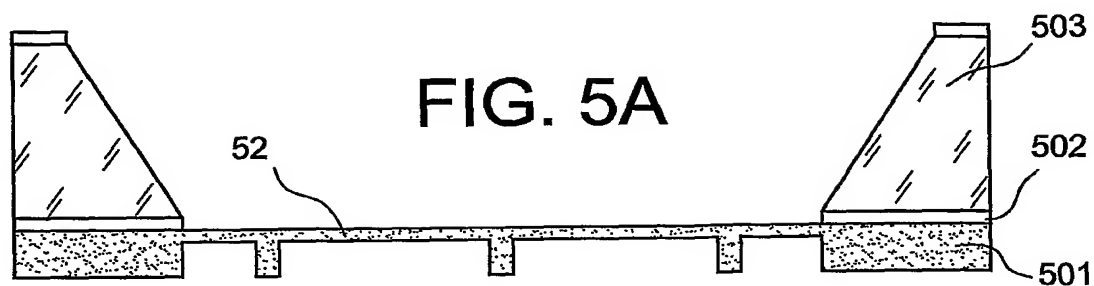


FIG. 4E

4 / 10



5 / 10

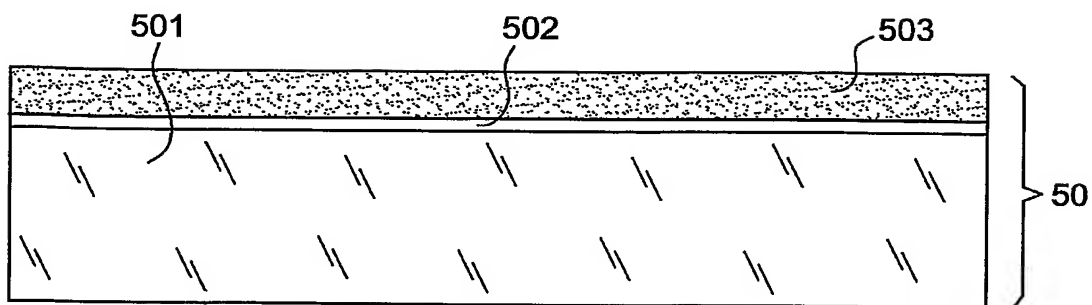


FIG. 7A

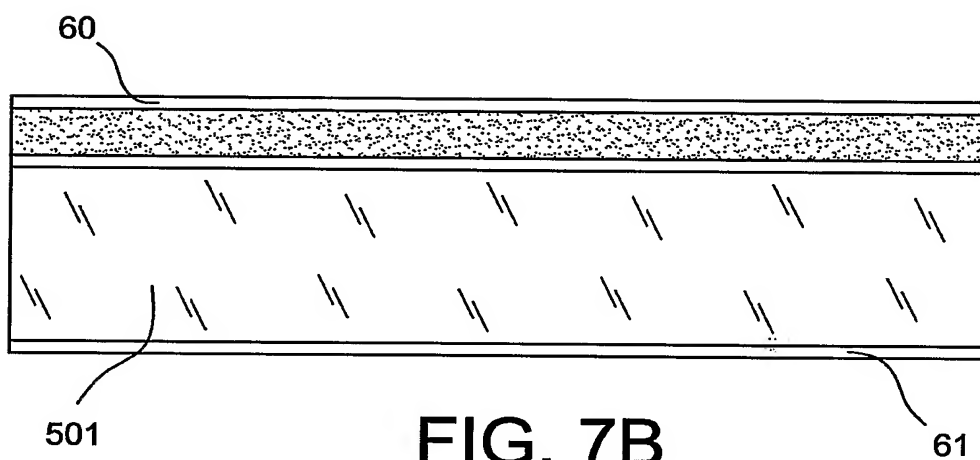


FIG. 7B

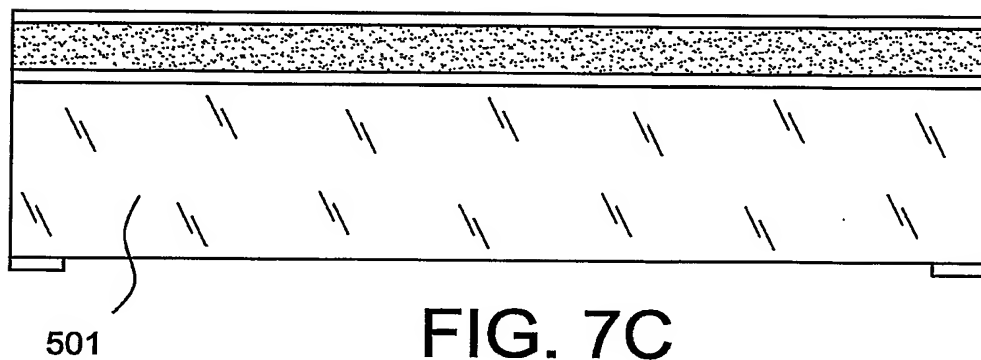


FIG. 7C

6 / 10

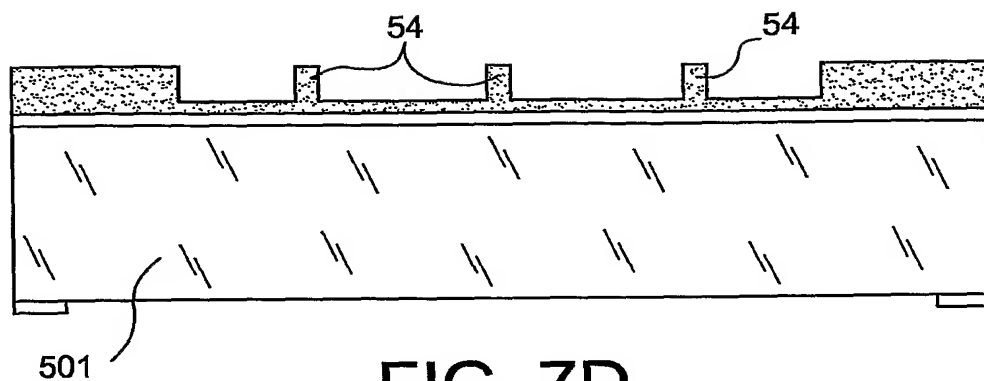


FIG. 7D

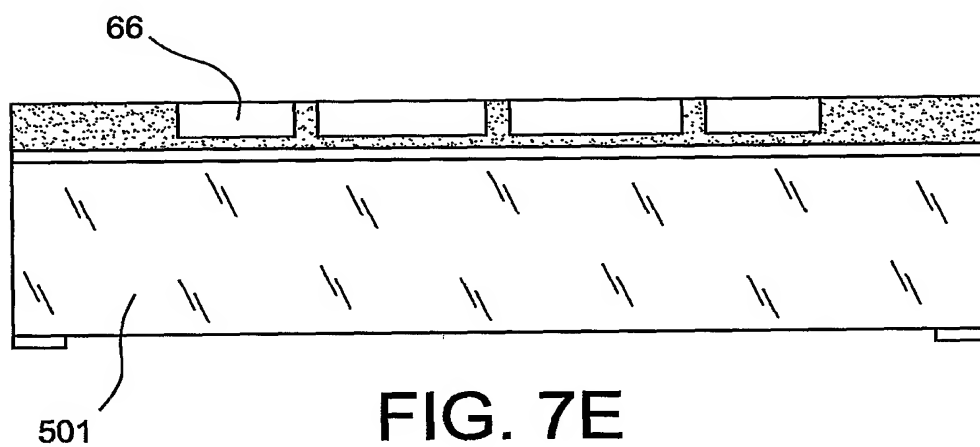


FIG. 7E

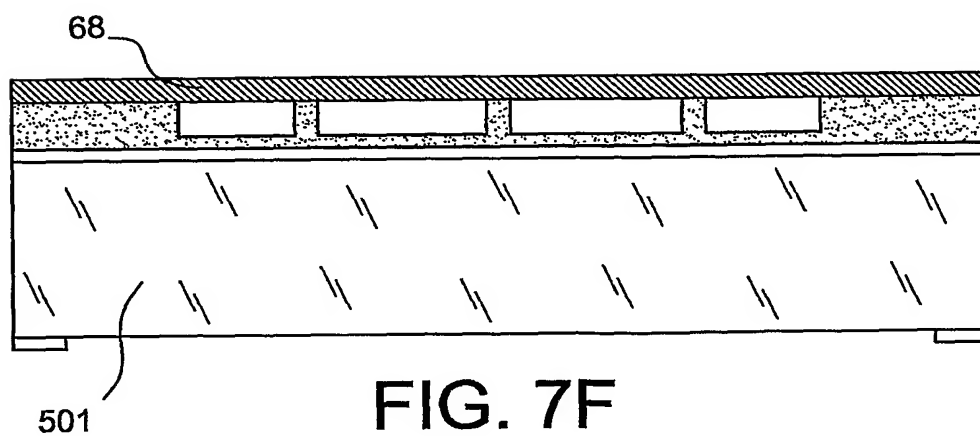


FIG. 7F

7 / 10

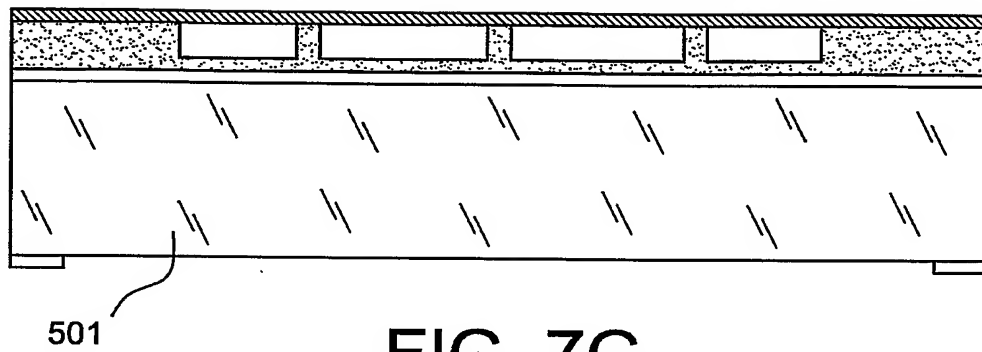


FIG. 7G

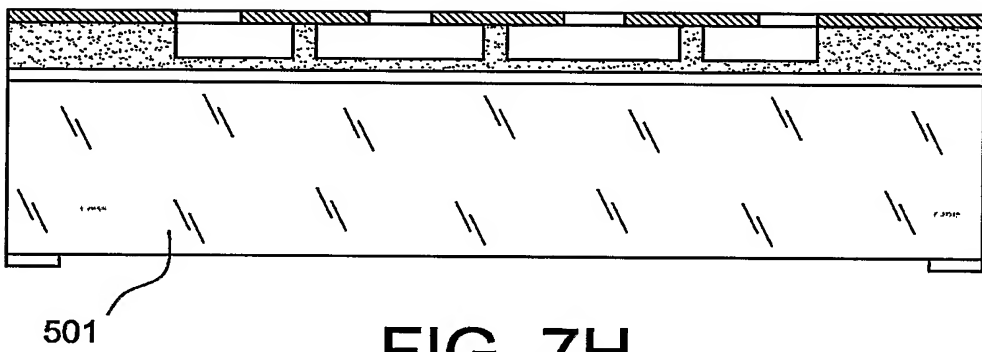


FIG. 7H

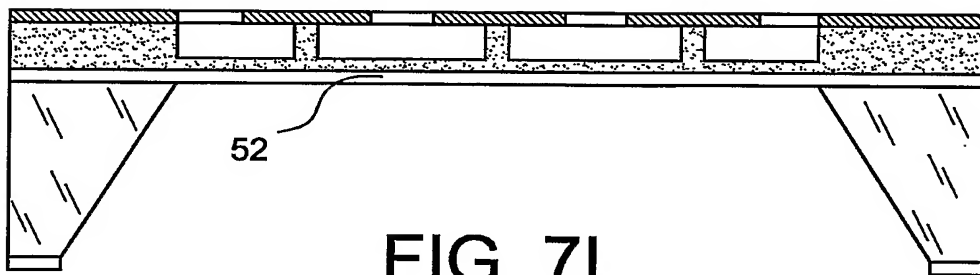
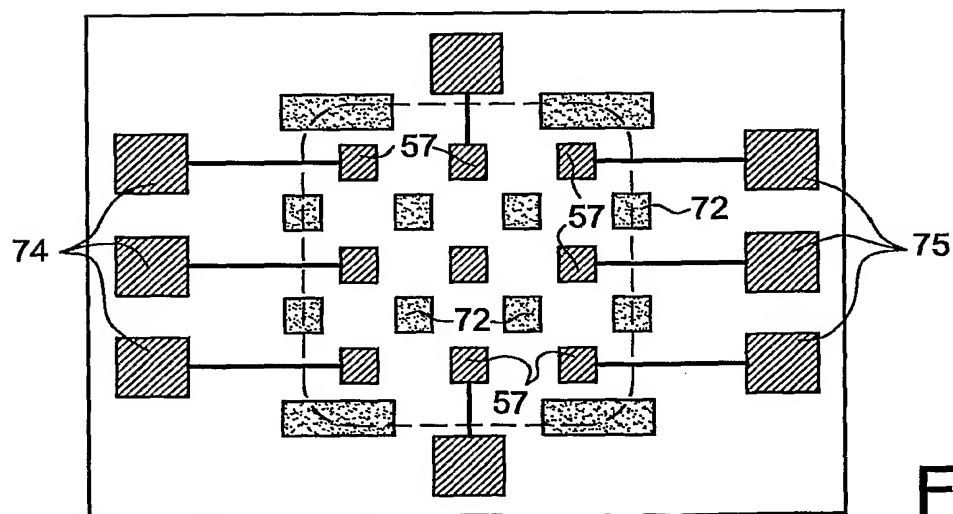
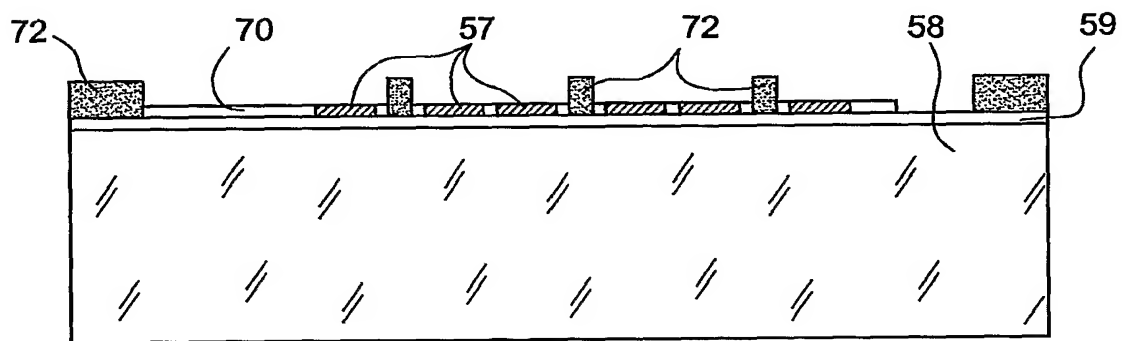
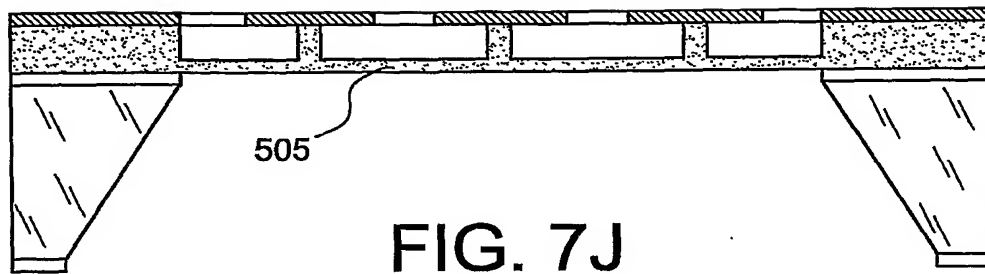


FIG. 7I

8 / 10





9 / 10

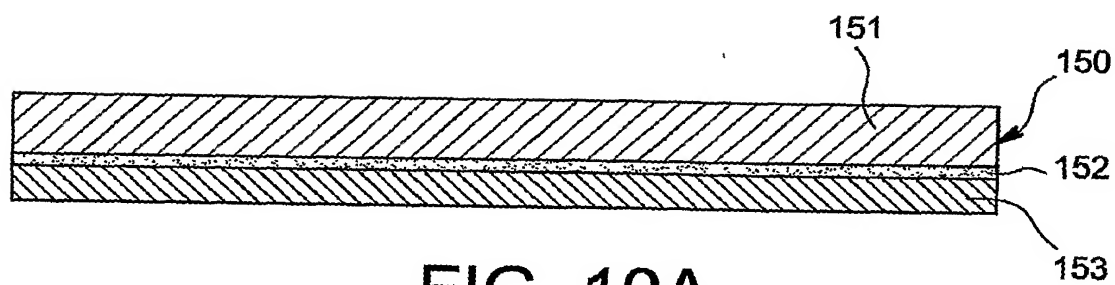


FIG. 10A

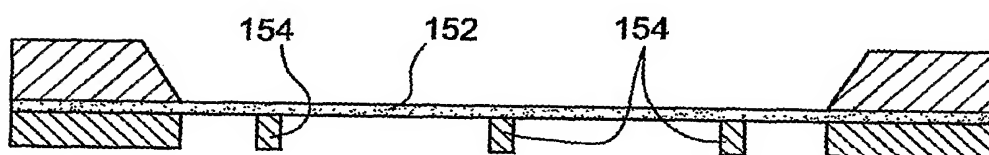


FIG. 10B

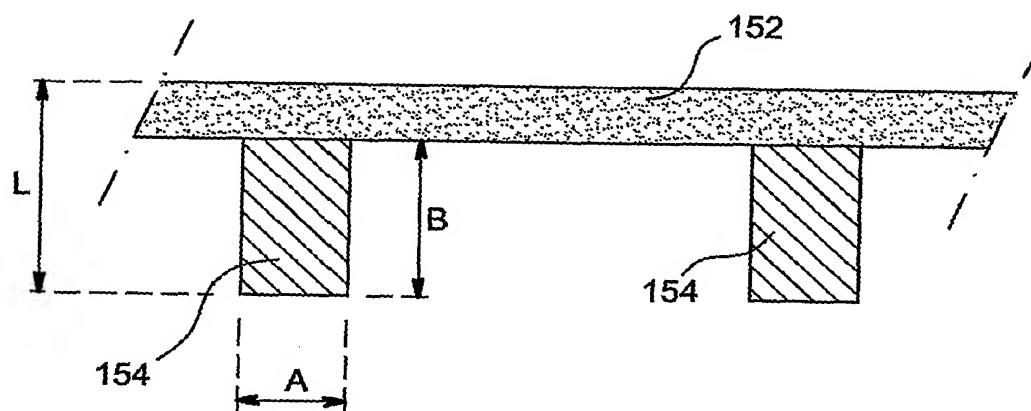
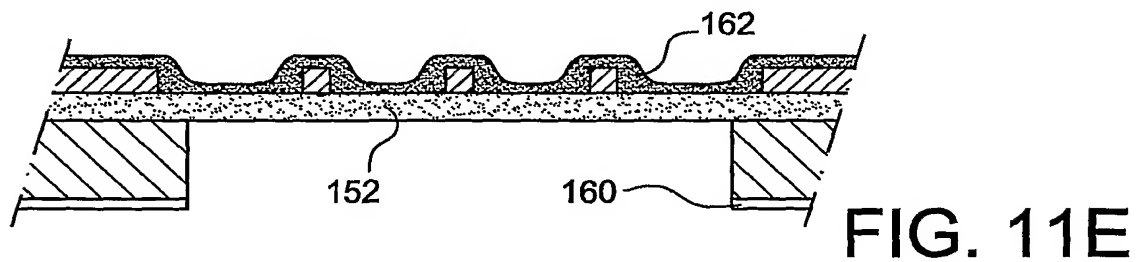
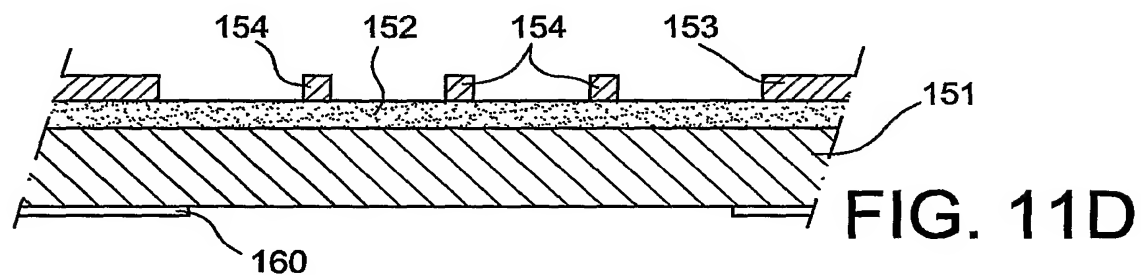
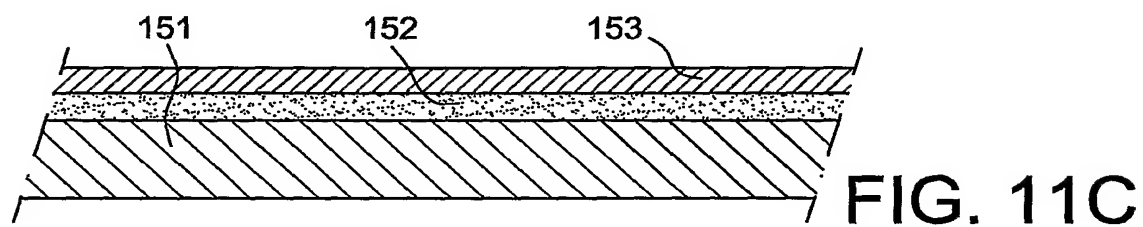
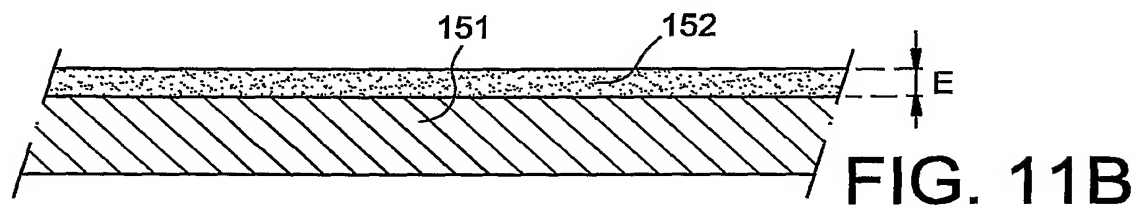
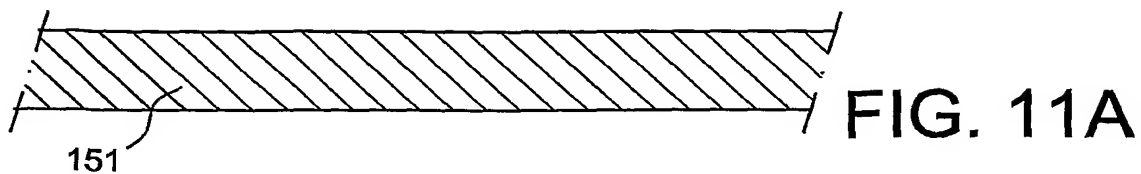


FIG. 12

10 / 10



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/050758

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G02B26/08 B81B3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B B81B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 203 128 A (GUCKEL, HENRY ET AL) 13 May 1980 (1980-05-13) column 2, lines 31-38 column 3, lines 35-60 column 7, lines 39-59 figures 6,7	17-25
A	BIFANO T G ET AL: "CONTINUOUS-MEMBRANE SURFACE-MICROMACHINED SILICON DEFORMABLE MIRROR" OPTICAL ENGINEERING, SOC. OF PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS. BELLINGHAM, US, vol. 36, no. 5, 1 May 1997 (1997-05-01), pages 1354-1359, XP000692365 ISSN: 0091-3286 cited in the application the whole document	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 May 2005

Date of mailing of the international search report

20/05/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Mollenhauer, R

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/050758

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01/92939 A (UNIV CALIFORNIA) 6 December 2001 (2001-12-06) page 5, line 28 - page 7, line 30 -----	1
A	EP 1 338 912 A (OLYMPUS OPTICAL CO) 27 August 2003 (2003-08-27) paragraph '0017! paragraphs '0031! - '0037! figure 8 -----	1
A	US 6 369 931 B1 (FREY WILHELM ET AL) 9 April 2002 (2002-04-09) abstract column 1, lines 44-67 column 3, line 39 - column 4, line 10 -----	1
A	US 6 577 427 B1 (GEE DALE A ET AL) 10 June 2003 (2003-06-10) column 10, line 23 - column 12, line 20; figures 13-18 -----	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/050758

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4203128	A	13-05-1980	CA 1094229 A1 DE 2749937 A1 GB 1591948 A JP 53063880 A	20-01-1981 11-05-1978 01-07-1981 07-06-1978
WO 0192939	A	06-12-2001	AU 6657401 A TW 505613 B WO 0192939 A1 US 2003019832 A1 US 2002008922 A1	11-12-2001 11-10-2002 06-12-2001 30-01-2003 24-01-2002
EP 1338912	A	27-08-2003	JP 2002182136 A EP 1338912 A1 DE 60108598 D1 EP 1215518 A1 US 2002118429 A1	26-06-2002 27-08-2003 03-03-2005 19-06-2002 29-08-2002
US 6369931	B1	09-04-2002	DE 19757197 A1 WO 9932919 A1 DE 59811004 D1 EP 0976005 A1 JP 2001513223 T	24-06-1999 01-07-1999 22-04-2004 02-02-2000 28-08-2001
US 6577427	B1	10-06-2003	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/050758

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 G02B26/08 B81B3/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G02B B81B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 4 203 128 A (GUCKEL, HENRY ET AL) 13 mai 1980 (1980-05-13) colonne 2, ligne 31-38 colonne 3, ligne 35-60 colonne 7, ligne 39-59 figures 6,7	17-25
A	----- BIFANO T G ET AL: "CONTINUOUS-MEMBRANE SURFACE-MICROMACHINED SILICON DEFORMABLE MIRROR" OPTICAL ENGINEERING, SOC. OF PHOTO-OPTICAL INSTRUMENTATION ENGINEERS. BELLINGHAM, US, vol. 36, no. 5, 1 mai 1997 (1997-05-01), pages 1354-1359, XP000692365 ISSN: 0091-3286 cité dans la demande le document en entier ----- -/--	1

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

\*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

\*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

\*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

\*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

\*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

4 mai 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

20/05/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Mollenhauer, R

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/050758

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 01/92939 A (UNIV CALIFORNIA) 6 décembre 2001 (2001-12-06) page 5, ligne 28 - page 7, ligne 30 -----	1
A	EP 1 338 912 A (OLYMPUS OPTICAL CO) 27 août 2003 (2003-08-27) alinéa '0017! alinéas '0031! - '0037! figure 8 -----	1
A	US 6 369 931 B1 (FREY WILHELM ET AL) 9 avril 2002 (2002-04-09) abrégé colonne 1, ligne 44-67 colonne 3, ligne 39 - colonne 4, ligne 10 -----	1
A	US 6 577 427 B1 (GEE DALE A ET AL) 10 juin 2003 (2003-06-10) colonne 10, ligne 23 - colonne 12, ligne 20; figures 13-18 -----	1

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2004/050758

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4203128	A	13-05-1980	CA 1094229 A1	20-01-1981
			DE 2749937 A1	11-05-1978
			GB 1591948 A	01-07-1981
			JP 53063880 A	07-06-1978
WO 0192939	A	06-12-2001	AU 6657401 A	11-12-2001
			TW 505613 B	11-10-2002
			WO 0192939 A1	06-12-2001
			US 2003019832 A1	30-01-2003
			US 2002008922 A1	24-01-2002
EP 1338912	A	27-08-2003	JP 2002182136 A	26-06-2002
			EP 1338912 A1	27-08-2003
			DE 60108598 D1	03-03-2005
			EP 1215518 A1	19-06-2002
			US 2002118429 A1	29-08-2002
US 6369931	B1	09-04-2002	DE 19757197 A1	24-06-1999
			WO 9932919 A1	01-07-1999
			DE 59811004 D1	22-04-2004
			EP 0976005 A1	02-02-2000
			JP 2001513223 T	28-08-2001
US 6577427	B1	10-06-2003	AUCUN	